



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA  
REAKSI  $H_2S$  DAN  $NaOH$  PADA *CAUSTIC SCRUBBER*  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC***

**ROBERTUS RADITYA**

**NRP. 2413 100 097**

**Dosen Pembimbing**

**Hendra Cordova, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2017**





*FINAL PROJECT - TF 141581*

*DESIGN pH CONTROL SYSTEM OF  $H_2S$  AND  $NaOH$   
REACTION IN CAUSTIC SCRUBBER BY USING FUZZY  
LOGIC METHOD*

*ROBERTUS RADITYA  
NRP. 2413 100 097*

*Supervisor  
Hendra Cordova, S.T., M.T.*

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Robertus Raditya

NRP : 2413100097

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA REAKSI  $H_2S$  DAN  $NaOH$  PADA CAUSTIC SCRUBBER DENGAN METODE FUZZY LOGIC adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Robertus Raditya



## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA REAKSI $H_2S$ DAN $NaOH$ PADA CAUSTIC SCRUBBER DENGAN METODE FUZZY LOGIC

#### TUGAS AKHIR

Oleh :

Robertus Raditya

NRP : 2413100097

Surabaya, Juli 2017

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Hendra Cordova, S.T, M.T

NIPN. 196905301994121001



Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS

Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

NIPN. 197809022003121002





## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA REAKSI $H_2S$ DAN $NaOH$ PADA CAUSTIC SCRUBBER DENGAN METODE FUZZY LOGIC**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ROBERTUS RADITYA**

NRP. 2413100097

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hendra Cordova, S.T, M.T ..... (Pembimbing 1)
2. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.kes ..... (Ketua Penguji)
3. Dr. Gunawan Nugroho, S.T. M.T ..... (Penguji 1)

**SURABAYA  
JULI, 2017**



# **PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA REAKSI $H_2S$ DAN $NaOH$ PADA *CAUSTIC SCRUBBER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC***

**Nama Mahasiswa** : Robertus Raditya  
**NRP** : 24 13 100 097  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Hendra Cordova, ST. MT

## **Abstrak**

*Caustic scrubber* merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk memisahkan kandungan  $H_2S$  dari *natural gas*. Produk yang dihasilkan oleh *caustic scrubber* adalah  $NaHS$ . Untuk menjaga kualitas dari produk  $NaHS$  diperlukan pengendalian pH pada *Caustic scrubber* agar pH dari  $NaHS$  yang dihasilkan dapat dijaga pada *range* 10-11. Pengendalian pH didasari dari dua bentuk pemodelan matematis, dimana terdapat pemodelan statik yang dilakukan berdasarkan konsep reaksi invariant dan pemodelan dinamik yang dirumuskan melalui persamaan *material balance* pada *plant*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian pH pada *caustic scrubber* untuk menjaga kualitas produk  $NaHS$  dengan menggunakan metode *fuzzy-PID gain scheduling*. Berdasarkan hasil simulasi, pengendali *fuzzy PID* memiliki respon yang lebih baik daripada pengendali PID biasa, dengan nilai *error* yang lebih kecil sebesar 0.540% dan *settling time* sebesar 117 detik, sementara pengendali PID memiliki error 0.596% dengan *settling time* 119 detik.

Kata Kunci: *caustic scrubber*, *fuzzy-PID*,  $H_2S$ ,  $NaOH$ , pH, statik, dinamik



# ***DESIGN pH CONTROL SYSTEM OF H<sub>2</sub>S AND NaOH REACTION IN CAUSTIC SCRUBBER BY USING FUZZY LOGIC METHOD***

***Name*** : Robertus Raditya  
***NRP*** : 24 13 100 097  
***Department*** : Teknik Fisika FTI-ITS  
***Supervisor*** : Hendra Cordova, ST. MT

## ***Abstract***

*Caustic scrubber is one of the latest technologies used to separate the H<sub>2</sub>S content from natural gas. The product produced by Caustic scrubber is NaHS. To maintain the quality of the NaHS product, pH control of Caustic scrubber is required so that the pH of the resulting NaHS can be maintained in the range of 10-11. The pH control is based on two forms of mathematical modeling, in which there are static modeling based on the concept of invariant reactions and dynamic modeling that is formulated through the material balance equation in the plant. This research aims to design pH control system in caustic scrubber to maintain the quality of NaHS product by using fuzzy-PID gain scheduling method. Based on the simulation result, the fuzzy PID controller has better response than the normal PID controller, with a smaller error value of 0.540% and the settling time of 117 seconds, while the PID controller has 0.596% error with a settling time of 119 seconds*

*Keywords: caustic scrubber, fuzzy-PID, H<sub>2</sub>S, NaOH, pH, static, dynamic*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

### **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN pH ANTARA REAKSI H<sub>2</sub>S DAN NaOH PADA CAUSTIC SCRUBBER DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC”**

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Hendra Cordova, S.T, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan dan semangat pada penulis.
2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D selaku ketua bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol sekaligus yang telah banyak membantu penulis.
3. Agus M. Hatta, S.T., M.Si, Ph.D selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
4. Ir. Matradji, M.kom selaku dosen wali penulis.
5. Hafizh Ghazidin dan Achmad Reza selaku teman-teman satu dosen pembimbing yang telah banyak memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Febrianto Bimo Amarto selaku teman seperjuangan tugas akhir yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Lukas Rudy Paembong, Irham Raditya dan Ilham Zarkasie, selaku teman-teman dari Departemen Teknik Kimia ITS, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 25 Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>PAGE TITLE</i> .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Lingkup Kerja .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Tinjauan Pustaka .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Caustic scrubber</i> .....	5
2.2 Teori Asam Basa .....	6
2.3 Titrasi Asam Basa .....	7
2.4 Pemodelan pH Reaksi .....	9
2.5 Konsep Dasar <i>Fuzzy</i> .....	10
2.6 Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	11
2.7 Kendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	15
2.8 Pengendali PID.....	16
2.9 <i>Gain Scheduling</i> .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
3.1 Pemodelan Dinamik Proses <i>Scrubber</i> .....	19
3.2 Pemodelan Statik Reaksi H <sub>2</sub> S dan NaOH.....	20
3.3 Pemodelan Matematik Elemen Pengendali .....	22
3.4 Penentuan parameter PID.....	23
3.5 Uji Simulasi.....	24
3.6 Perancangan Logika <i>Fuzzy</i> .....	26
3.7 Analisa Performansi .....	35

3.8 Penyusunan Laporan .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil Pemodelan dan Simulasi <i>Open loop</i> .....	37
4.2 Hasil Simulasi <i>Close loop</i> .....	39
4.3 Pembahasan.....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Caustic scrubber</i> .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva titrasi asam lemah dan basa kuat.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Kurva titrasi asam kuat dan basa kuat.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Fungsi trapesium.....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Fungsi gaussian.....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Fungsi keanggotaan segitiga .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Struktur dasar kendali logika fuzzy .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram blok kontroler PID .....	17
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	19
<b>Gambar 3.2</b>	Pemodelan Dinamik pada <i>matlab simulink</i> .....	20
<b>Gambar 3.3</b>	Simulasi <i>open loop</i> pada <i>matlab simulink</i> .....	25
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram blok model <i>close loop</i> dengan menggunakan <i>fuzzy logic controller</i> .....	25
<b>Gambar 3.5</b>	Simulasi <i>close loop</i> pada <i>matlab simulink</i> .....	26
<b>Gambar 3.6</b>	Desain input output pada FIS .....	27
<b>Gambar 3.7</b>	<i>Membership function</i> variabel <i>error</i> .....	27
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Membership function</i> variabel <i>delta error</i> .....	28
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Membership function</i> parameter <i>Kp</i> .....	29
<b>Gambar 3.10</b>	<i>Membership function</i> parameter <i>Ki</i> .....	29
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Membership function</i> parameter <i>Ki</i> .....	30
<b>Gambar 3.12</b>	<i>Rule base</i> .....	33
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Rule viewer</i> .....	34
<b>Gambar 3.14</b>	Simulasi sistem kendali <i>fuzzy logic gain scheduling</i>	35
<b>Gambar 4.1</b>	Respon pH saat simulasi <i>open loop</i> .....	38
<b>Gambar 4.2</b>	Respon pH saat uji <i>close loop</i> PID .....	39
<b>Gambar 4.3</b>	Respon pH saat uji <i>close loop fuzzy</i> PID.....	39

<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan respon pengendali PID dan FGS.....	40
<b>Gambar 4.5</b> Respon pH PID ketika diberi <i>disturbance</i> .....	41
<b>Gambar 4.6</b> Respon pH FGS ketika diberi <i>disturbance</i> .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Respon pH PID ketika uji <i>tracking</i> .....	42
<b>Gambar 4.8</b> Respon pH FGS ketika uji <i>tracking</i> .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan respon pengendali FGS dan PID ketika uji <i>tracking</i> .....	43

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Tabel Zieger-Nichols .....	24
<b>Tabel 3. 2</b> <i>Rule base</i> untuk parameter $K_p$ .....	31
<b>Tabel 3. 3</b> <i>Rule base</i> untuk parameter $K_i$ .....	32
<b>Tabel 3. 4</b> <i>Rule base</i> untuk parameter $K_d$ .....	32
<b>Tabel 4. 1</b> Perbandingan nilai respon antara PID dan FGS .....	44



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) merupakan salah satu jenis gas yang tidak berwarna, mudah terbakar, dan sangat berbahaya dengan ciri khas memiliki bau seperti telur busuk. Efeknya bagi makhluk hidup adalah dapat mematikan sistem pernafasan dalam waktu singkat. Salah satu aktivitas industri yang dapat menghasilkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  adalah produksi dan eksplorasi minyak dan gas bumi. Pada aktivitas produksi dan eksplorasi minyak dan gas bumi, gas  $\text{H}_2\text{S}$  terdapat pada natural gas yang baru dikeluarkan dari sumur (Mamrosh, McIntush, & Fisher, 2014). Kandungan  $\text{H}_2\text{S}$  dari natural gas ini nantinya akan di pisahkan dan diolah kembali agar tidak memiliki dampak yang berbahaya bagi lingkungan.

*Caustic scrubbing* merupakan suatu teknologi yang digunakan untuk memisahkan gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan gas asam lainnya dari natural gas. *Caustic scrubber* dapat diaplikasikan pada kondisi volume  $\text{H}_2\text{S}$  yang rendah. Produk dari caustic scrubbing gas  $\text{H}_2\text{S}$  adalah NaHS yang dapat dijual kembali (Mamrosh, McIntush, & Fisher, 2014).

Sistem kontrol yang baik pada *Caustic scrubbers* dipengaruhi oleh jumlah penambahan NaOH. Penambahan NaOH dapat dilakukan melalui pH kontrol, Kontrol konsentrasi  $\text{H}_2\text{S}$  atau keduanya (Mamrosh, McIntush, & Fisher, 2014). Untuk itu diperlukan suatu rancangan sistem pengendalian untuk mengontrol konsentrasi pada reaksi pencampuran tersebut. Salah satu cara untuk merancang suatu sistem pengendalian adalah dengan menggunakan logika *fuzzy*.

Kendali logika *fuzzy* menggambarkan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengendalikan suatu sistem, berbeda dengan cara pengendalian konvensional, sistem yang dikendalikan dimodelkan secara analitis oleh sejumlah persamaan diferensial. Kendali logika *fuzzy* memberikan penyelesaian pada penentuan aksi kendali yang harus diberikan pada sistem. Kedua

cara pengendalian tersebut menyebabkan terjadi perubahan pada model sistem yang dikendali menjadi model cara berfikir operator. Salah satu jenis kendali logic *fuzzy* adalah *fuzzy PID Gain Scheduling*, yaitu menggunakan logika *fuzzy* untuk menentukan parameter PID pada suatu sistem kontrol (Handrian, Arifin, & Roekmono, 2011).

Rencana tugas akhir ini bertujuan untuk merancang suatu sistem pengendalian yang berfungsi untuk mengatur kadar pH dari pencampuran reaksi  $H_2S$  dan  $NaOH$  agar terpisah dari *Natural gas* dan menghasilkan produk  $NaHS$  yang berkualitas.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diangkat dalam tugas akhir ini, antara lain:

1. Bagaimana melakukan pemodelan matematis dari reaksi antara  $H_2S$  dan  $NaOH$  pada proses pemisahan  $H_2S$  dari *Natural Gas*?
2. Bagaimana merancang suatu sistem pengendalian pH pada reaksi  $H_2S$  dan  $NaOH$  pada *Caustic scrubber*?

## 1.3 Lingkup Kerja

Adapun lingkup kerja yang digunakan pada tugas akhir ini adalah pemodelan reaksi  $H_2S$  dan  $NaOH$  pada *Caustic scrubber* menggunakan metode perubahan laju volume. Kemudian dilakukan perhitungan dan analisa nilai pH dari reaksi tersebut berdasarkan data yang didapat seperti konsentrasi, *flow* dan volume. Setelah itu melakukan pemodelan pada Simulink agar selanjutnya dapat dirancang suatu sistem pengendalian dengan menggunakan metode *fuzzy*.

## 1.4 Tujuan

Adapun Tujuan yang akan dilakukan pada tugas akhir ini, yaitu:

1. Mendapatkan pemodelan matematis dari reaksi antara  $H_2S$  dan  $NaOH$  untuk mendapatkan nilai pH
2. Merancang suatu sistem pengendalian pH pada reaksi  $H_2S$  dan  $NaOH$  pada *caustic scrubber*



## 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Plant yang digunakan adalah *Caustic scrubber*
2. Pengolahan data dilakukan dengan software matlab 2009a
3. Perancangan sistem pengendalian menggunakan *Fuzzy PID Gain Scheduling*

## 1.6 Tinjauan Pustaka

Dalam menunjang pelaksanaan tugas akhir ini terdapat beberapa referensi literature, antara lain:

- [1] Darryl Mamrosh, Kenneth McIntush, Kevin Fisher. 2013. "*Caustic scrubber Design for H<sub>2</sub>S Removal in Refinery Gas Streams*". Trimeric Corporation, Buda, TX, USA.

Jurnal ini membahas tentang *Caustic scrubber* dari segi design, prinsip kerja, dan aspek-aspek penting yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan. Jurnal ini juga menjelaskan bahwa pengendalian pH diperlukan bagi *Caustic scrubber* untuk menghasilkan produk NaHS yang berkualitas.

- [2] Jean Peter Yien P. Justilla. 1997. "*Fuzzy Self-Organising pH Control of an Amonia Scrubber*". *Helsinki Universiti of Technology, Espoo, finland*

Jurnal ini membahas bagaimana mengenai contoh pemodelan pH pada *Scrubber* dengan menggunakan metode perubahan laju volume dan kesetimbangan muatan.

- [3] Wahyuni Nursinggih, Hendra Cordova. 2012. "Perancangan Sistem Pengendalian pH dengan Metode *Adaptive Control* Menggunakan *Minimum Variance* pada Unit Pengolahan Limbah Gas di PT HESS (Indonesia-Pangkajene) Ltd.". Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

Jurnal ini membahas mengenai pemodelan pH antara reaksi H<sub>2</sub>S dan NaOH serta implementasinya pada Simulink.

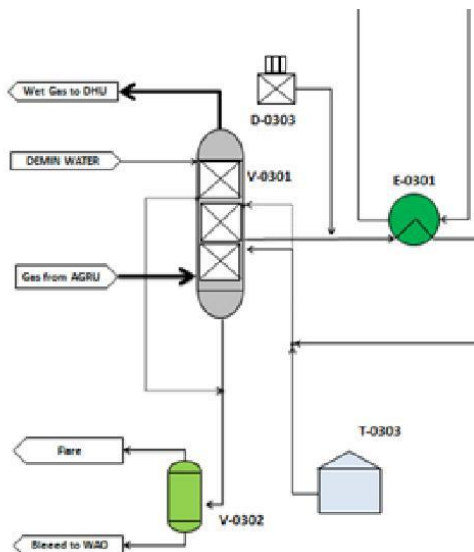
**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Caustic scrubber*

*Caustic scrubber* merupakan suatu alat untuk memisahkan kandungan  $H_2S$  dari natural gas dengan menggunakan larutan *caustic* yaitu NaOH. Metode pemisahan menggunakan metode *contact counter-current* dimana aliran *natural gas* yang masuk ke dalam scrubber berkontak dengan larutan NaOH yang nantinya akan mengikat kandungan  $H_2S$  dalam natural gas agar terpisah dan membentuk senyawa baru yaitu NaHS. NaHS inilah yang merupakan produk utama dari *Caustic scrubber* karena memiliki nilai jual. Kualitas dari NaHS bergantung pada nilai pH yang dimiliki, yaitu berkisar antara 10-11 (Siemak & Gelbs, 1985). Untuk itu diperlukan pengendalian pH pada proses reaksi antara  $H_2S$  dan NaOH. Jika nilai pH terlalu tinggi maka akan terdapat banyak endap pada larutan NaHS sehingga kualitas produk akan menurun.



**Gambar 2.1** *Caustic scrubber*

## 2.2 Teori Asam Basa

Menurut Arrhenius apabila larutan elektrolit dilarutkan kedalam air maka akan menghasilkan ion-ion positif dan negatif. Apabila larutan yang dicelupkan kedalam air menghasilkan ion  $H^+$  atau  $H_3O^+$  maka larutan tersebut tergolong larutan yang bersifat asam. Sedangkan suatu larutan dikatakan bersifat basa jika suatu larutan yang dilarutkan kedalam air menghasilkan ion hidroksida atau  $OH^-$ .

Teori tentang konsep asam dan basa lainnya dikemukakan oleh Bronsted-Lowry. Bronsted-Lowry menyatakan bahwa asam adalah zat yang dapat memberikan proton (donor) sedangkan basa adalah suatu zat yang dapat menerima proton (akseptor). Proton yang dimaksud adalah ion  $H^+$ , sebagai contoh yaitu larutan  $HCl$  dilarutkan kedalam air maka reaksinya akan menjadi sebagai berikut (Ylen, 2001):



Konstanta kesetimbangan reaksi diatas dapat ditulis:

$$K = \frac{[H_3O^+][Cl^-]}{[HCl][H_2O]} \quad (2.2)$$

K merupakan konstanta disosiasi larutan yang didapat dari perbandingan konsentrasi hasil dengan konsentrasi produk. Karena reaksi terjadi dalam larutan air, maka harga atau nilai konstanta asam adalah (Ylen, 2001):

$$K_a = \frac{[H_3O^+][Cl^-]}{[HCl]} \quad (2.3)$$

Pada persamaan diatas konsentrasi  $H_2O$  dianggap konstan, sehingga persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

$$K_a' = \frac{[H_3O^+][Cl^-]}{[HCl]} \quad (2.4)$$

Untuk larutan yang bersifat basa, reaksinya hampir sama dengan larutan yang bersifat asam. Hanya saja pada larutan basa ion yang dihasilkan dari proses disosiasi adalah ion  $OH^-$  sebagai berikut:



Larutan basa A dilarutkan kedalam air, didalam air terjadi reaksi dimana larutan A menerima sumbangan 1 ion  $H^+$  dari  $H_2O$ . Konstanta disosiasi untuk larutan basa ( $K_b$ ) adalah sebagai berikut (Ylen, 2001):

$$= \frac{[H^+][A^-]}{[A]} \quad (2.6)$$

Nilai tetapan kesetimbangan air pada temperature 25 C adalah sekitar  $1.82 \times 10^{-16}$ . Hal ini menyebabkan derajat disosiasi air dapat diabaikan atau dianggap tidak terdisosiasi, atau dapat juga dikatakan bahwa konsentrasi air dapat dianggap konstan karena nilainya yang sangat kecil. Sehingga konstanta disosiasi air adalah sebagai berikut (Ylen, 2001):

$$= \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \quad (2.7)$$

$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14} \quad (2.8)$$

Pada dasarnya derajat keasaman dari suatu larutan bergantung pada konsentrasi ion  $H^+$  dalam larutan. Semakin besar konsentrasi ion  $H^+$  maka semakin asam larutan tersebut. Nilai pH dapat dirumuskan sebagai berikut (Ylen, 2001):

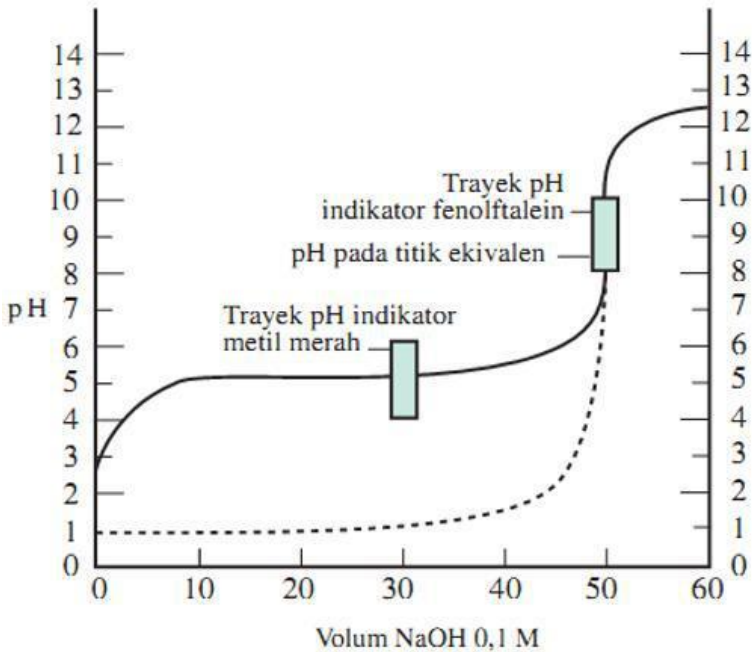
$$pH = -\log[H^+] \quad (2.9)$$

$$pOH = -\log[OH^-] \quad (2.10)$$

## 2.3 Titrasi Asam Basa

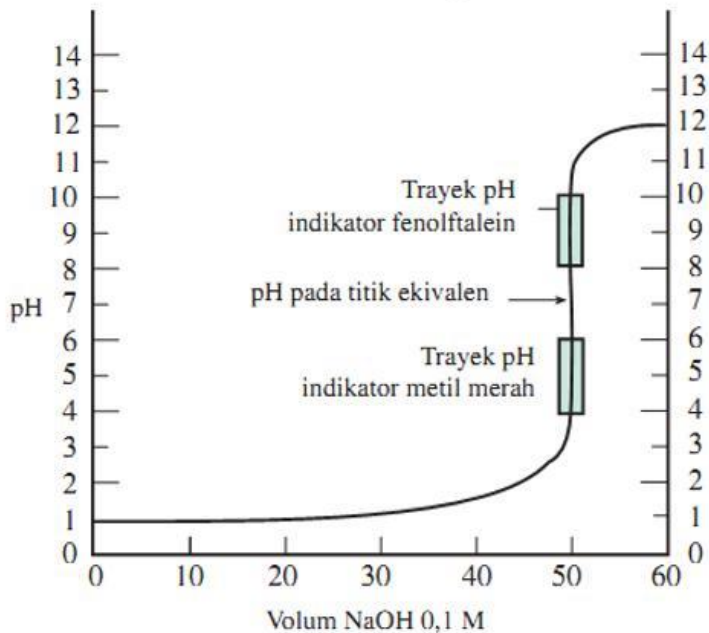
Reaksi asam basa tidak terlepas dari kurva titrasi yang menunjukkan nilai pH sebagai fungsi perubahan konsentrasi asam dan basa. Harga pH ditentukan oleh penambahan jumlah volume asam-basa. Bentuk kurva titrasi ditentukan oleh partisipasi masing-masing komponen kimia. Secara teoritis kurva titrasi memerlukan pengetahuan tentang konstanta kesetimbangan dan konsentrasi total asam dan basa (Darsati, 2012). Dibawah ini

merupakan salah satu contoh bentuk kurva titrasi asam basa (Darsati, 2012):



**Gambar 2.2** Kurva titrasi asam lemah dan basa kuat

Pada reaksi asam lemah dan basa kuat, titik ekuivalen berada pada range pH 8-9 dengan daerah perubahan pH drastis berada pada *range* pH 7-10. Berbeda dengan reaksi antara asam kuat dan basa kuat yang memiliki titik ekuivalen pada nilai pH 7 dengan daerah perubahan pH drastis 4-10 yang dapat dilihat pada gambar 2.3. Garis putus-putus pada gambar 2.2 menunjukkan perbandingan kurva titrasi asam lemah dan basa kuat dengan kurva titrasi asam kuat dan basa kuat.



**Gambar 2.3** Kurva titrasi asam kuat dan basa kuat

## 2.4 Pemodelan pH Reaksi

Berikut ini adalah reaksi pencampuran antara  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  (Mamrosh, McIntush, & Fisher, 2014):



Pemodelan pH dari reaksi diatas terdiri dari pemodelan static dan pemodelan dinamik. Pemodelan dinamik reaksi ditentukan berdasarkan rumus *Material Balance* sebagai berikut (Tore. K & Waller. V, 1983):

$$\frac{dC_i}{dt} = (C_i)_{in} - (C_i)_{out} + R_i \quad (2.13)$$

$$= (-) + (-)$$

Dimana pada reaksi:

W = reaksi invariant dari reaksi (Molar)

qa = *flow* asam (Liter/Hour)

qb = *flow* basa (Liter/Hour)

V = Volume (Liter)

Sementara untuk pemodelan statik ditentukan berdasarkan rumus reaksi invariant, dimana pada sistem ini terdapat 2 jenis reaksi invariant yaitu Wa dan Wb (Wahyuni & Cordova, 2012):

$$= [ + ] - [ - ] - [ - ] - 2[ ^2 ] \quad (2.15)$$

$$= [ + ] + [ - ] + [ ^2 ] \quad (2.16)$$

## 2.5 Konsep Dasar Fuzzy

Kendali Logika *Fuzzy* menggambarkan proses berfikir seorang operator ketika sedang mengendalikan suatu sistem, berbeda dengan cara pengendalian konvensional, sistem yang dikendalikan dimodelkan secara analitis oleh sejumlah persamaan diferensial. Kendali Logika *Fuzzy* memberikan penyelesaian pada penentuan aksi kendali yang harus diberikan pada sistem. Kedua cara pengendalian tersebut menyebabkan terjadi perubahan pada model sistem yang dikendali menjadi model cara berfikir operator.

Teori himpunan *fuzzy* merupakan perluasan dari teori logika (Arifin, 2016) Boolean yang menyatakan tingkat angka 1 atau 0 atau pernyataan benar atau salah, sedang pada teori logika *fuzzy* terdapat tingkat nilai antara 1 dan 0 sebagai tingkat pernyataan kebenaran atau kesalahan. (Arifin, 2016)

Himpunan *fuzzy* adalah suatu himpunan dari prinsip-prinsip matematik untuk memodelkan informasi yang didasarkan pada tingkat keanggotaan. Misalkan U adalah kumpulan obyek yang secara umum dinyatakan dengan  $\{u\}$ , yang dapat bernilai diskrit



atau kontinyu.  $U$  disebut semesta pembicaraan, dan  $u$  mewakili elemen-elemen  $U$ . (Arifin, 2016)

Suatu himpunan *fuzzy*  $F$  dalam semesta pembicaraan  $U$  dapat digambarkan oleh suatu fungsi keanggotaan (*membership function*)  $\mu_F$  yang mewakili nilai dalam interval  $[0,1]$  untuk tiap  $u$  dalam  $U$  dinyatakan sebagai berikut (Arifin, 2016).

$$\mu_F: U \rightarrow [0,1] \quad (2.17)$$

Suatu himpunan *fuzzy* dalam semesta  $U$  direpresentasikan sebagai pasangan elemen  $u$  dengan tingkat fungsi keanggotaan dinyatakan dengan persamaan (Arifin, 2016).

$$F = \{(u, \mu_F(u)) \mid u \in U\} \quad (2.18)$$

Semua elemen  $u$  dalam  $U$  akan memberikan besar derajat keanggotaan  $\mu_F(u) > 0$  disebut penyokong (*support*) dari himpunan *fuzzy* yang bersangkutan. Untuk nilai  $\mu_F(u) = 0.5$  maka nilai  $u$  disebut sebagai titik silang, dan  $\mu_F(u) = 1$  disebut *fuzzy tunggal* (*singleton*) (Arifin, 2016).

Suatu himpunan *fuzzy*  $F$  adalah suatu *fuzzy tunggal* yang menyokong  $u$ , maka dapat ditulis sebagai persamaan (Arifin, 2016)

$$F = \mu_F(u) / u \quad (2.19)$$

$\mu_F(u)$  menyatakan tingkat keanggotaan  $u$  dalam himpunan *fuzzy*  $F$ , sehingga untuk semesta pembicaraan  $U$  kontinyu dan diskrit dapat dinyatakan dengan persamaan berikut. (Arifin, 2016)

$$F = \int \mu_F(u) / u \quad \text{untuk } U \text{ kontinyu} \quad (2.20)$$

$$F = \sum \mu_F(u) / u \quad \text{untuk } U \text{ diskrit} \quad (2.21)$$

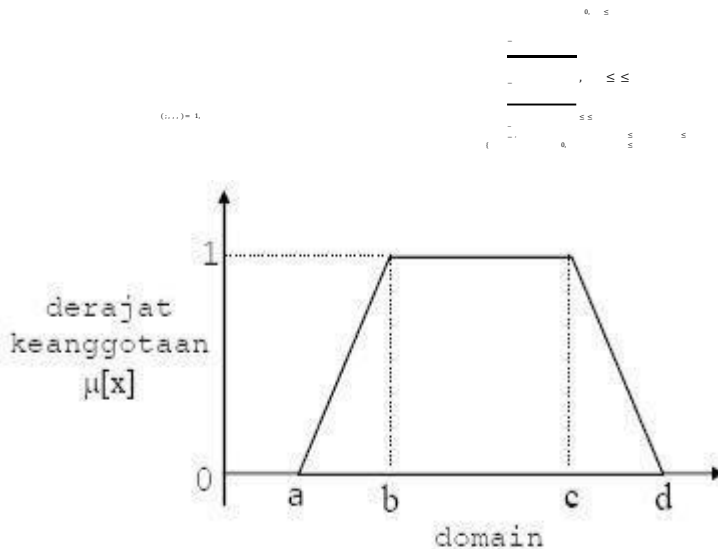
## 2.6 Operasi Himpunan Fuzzy

Fungsi keanggotaan menyatakan derajat keanggotaan dari masing-masing anggota dalam semesta pembicaraan. Fungsi keanggotaan ini dapat didefinisikan dengan memakai dua cara yaitu dengan numerik dan dengan fungsional. Definisi numerik menyatakan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dalam sebuah vektor dimana dimensinya tergantung pada tingkat diskritisasi. Definisi fungsional mendefinisikan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dalam pernyataan analitik dimana tingkat keanggotaan

masing-masing elemen dihitung didalam semesta pembicaraan. Adapun Fungsi keanggotaan yang sering dipakai dalam praktek antara lain (Arifin, 2016) :

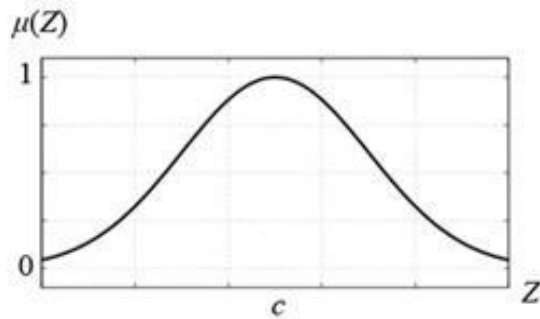
a. Fungsi Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium tergantung pada empat parameter yang dinyatakan secara matematis sebagai berikut (Arifin, 2016):



**Gambar 2.4** Fungsi trapesium

## b. Fungsi Gaussian



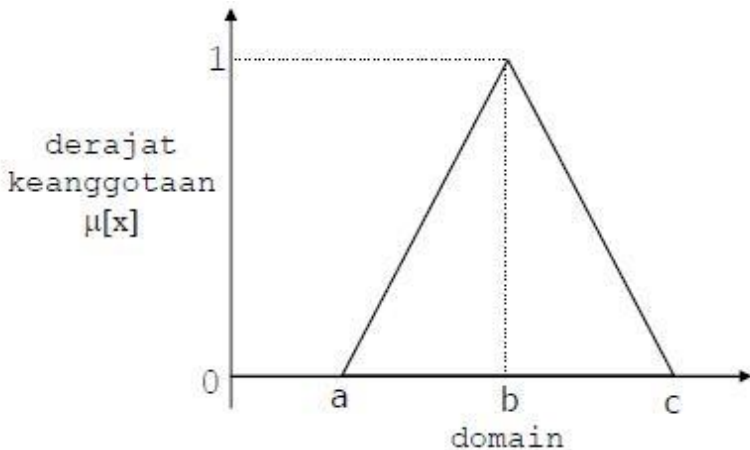
**Gambar 2.5** Fungsi gaussian

$$\mu(Z) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Z-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.22)$$

Dengan  $\sigma$  adalah derajat eksponensial fungsi gaussian,  $c$  adalah titik tengah fungsi Gaussian (Arifin, 2016).

## c. Fungsi-T (Segitiga)

$$\mu(Z) = \begin{cases} \frac{Z-a}{b-a}, & a \leq Z < b \\ \frac{c-Z}{c-b}, & b \leq Z < c \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$



**Gambar 2.6** Fungsi keanggotaan segitiga

Dua himpunan *fuzzy* A dan B dalam suatu himpunan semesta U dengan fungsi keanggotaan masing-masing  $\mu_A$  dan  $\mu_B$  memiliki operasi-operasi himpunan antara lain sebagai berikut (Arifin, 2016) :

- 1) Komplemen dari A ( $A'$ )

Komplemen dari himpunan *fuzzy* A dengan derajat keanggotaan  $\mu_A$  ( $u$ ) didefinisikan sebagai himpunan *fuzzy* yang terletak pada semesta yang sama dengan derajat keanggotaan.

$$\mu_{A'}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (2.23)$$

- 2) Irisan dari A dan B ( $A \cap B$ )

Irisan dari dua himpunan *fuzzy* A dan B adalah himpunan *fuzzy* dengan derajat keanggotaan elemennya diberikan persamaan

$$\mu_{A \cap B}(u) = \text{Min}(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad (2.24)$$

- 3) Gabungan dari A dan B ( $A \cup B$ )

Gabungan dari dua himpunan *fuzzy* A dan B adalah himpunan *fuzzy* dengan derajat keanggotaan elemennya diberikan persamaan

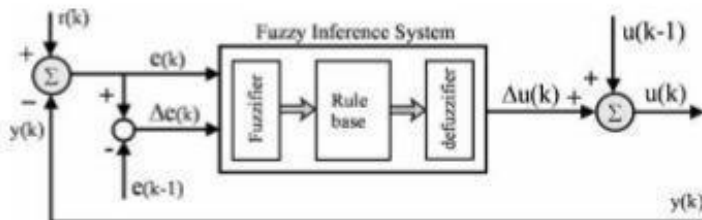
$$\mu_{A \cup B}(u) = \text{Max}(\mu_A(u), \mu_B(u)) \quad (2.25)$$

## 4) Kesamaan

Dua himpunan *fuzzy* A dan B dikatakan sama jika keduanya berada pada semesta yang sama dan tiap elemennya memiliki derajat keanggotaan yang sama.

$\mu_A(u) = \mu_B(u)$  (2.26) Relasi *fuzzy* adalah suatu relasi yang nilai kebenarannya diantara 0 dan 1. Relasi *fuzzy* dari himpunan semesta  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

## 2.7 Kendali Logika Fuzzy



**Gambar 2.7** Struktur dasar kendali logika *fuzzy*

Prinsip operasi dari kendali dengan menggunakan logika *fuzzy* serupa dengan operator manusia yaitu dengan mengatur sinyal *input* dari sistem dengan hanya melihat *output* dari sistem itu sendiri. Terdapat tiga bagian utama dari kendali logika *fuzzy* yaitu *fuzzifier*, *rule base*, dan *defuzzifier* yang ditunjukkan pada gambar 2.7 (Altas & M, 2007). Sinyal-sinyal input, biasanya berupa *error* dari *setpoint*, dikonversi kedalam bilangan *fuzzy* oleh *fuzzifier*. Selanjutnya bilangan *fuzzy* tersebut diterjemahkan oleh *rule base* agar diperoleh sinyal output yang diinginkan. Terakhir, kumpulan nilai *fuzzy* yang merepresentasikan sinyal *output* kontroler tersebut dikonversi kedalam nilai yang *crisp*.

Kendali logika *fuzzy* di desain untuk bertindak sebagai kontroler integrator, dimana resultant *output* tambahan  $\Delta U(k)$  ditambahkan ke nilai sebelumnya  $U(k-1)$  untuk menghasilkan

sinyal output  $U(k)$ . Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$U(k) = U(k-1) + \Delta U(k) \quad (2.27)$$

Pada integrasi digital  $\Delta U(k)$  didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta U(k) = U(k) - U(k-1) \quad (2.28)$$

Dimana  $K_i$  merupakan konstanta integral,  $T_s$  merupakan periode sampling dan  $e(k)$  merupakan sinyal yang terintegrasi. Nilai  $\Delta U(k)$  bernilai nol jika  $e(k)$  bernilai nol (Altas & M, 2007).

## 2.8 Pengendali PID

Kontroler PID adalah pengendali konvensional yang sering digunakan dalam berbagai unit pengendalian proses. Hal ini dikarenakan PID mempunyai struktur yang relatif sederhana dan performansi yang baik pada daerah operasi yang luas. Secara matematis perhitungan parameter PID dapat dirumuskan sebagai berikut (Ogata, 2002):

$$U(s) = -K_p \left( 1 + T_i s + T_d s \right) E(s) \quad (2.29)$$

Dimana:

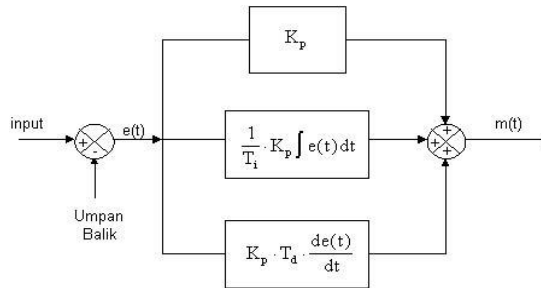
$e(t) = \text{error function}$

$K_p = \text{proportional gain}$

$T_i = \text{integral time}$

$T_d = \text{derivative time}$

Untuk mempercepat respon maka dibutuhkan pengendali *derivative*, sehingga kekurangan yang ada pada pengendali integral dapat ditutupi. Jadi ketiga mode pengendali *proportional*, *integral*, dan *Derivative* masing-masing berguna untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset* dan mendapatkan energi ekstra di saat-saat awal perubahan load (Ogata, 2002).



**Gambar 2.8** Diagram blok kontroler PID

## 2.9 Fuzzy Gain Scheduling

Pengendali PID merupakan pengendali yang banyak digunakan di industri proses karena bentuknya yang sederhana dan mudah diimplementasikan. Untuk mengatasi permasalahan biasanya adalah dengan menggunakan metode *Fuzzy Gain Scheduling*-PID.

Dimana parameter kendali berubah secara otomatis. Hal ini terjadi jika perubahan kondisi operasi yang menyebabkan kinerja kendali menurun, dimana dapat diketahui dari nilai *error* dan *dererror*. Metode ini dinamakan *Fuzzy Gain Scheduling*-PID (Handrian, Arifin, & Roekmono, 2011).

Pada aplikasi ini, *fuzzy* berfungsi menghitung secara otomatis parameter kontrol PID ( $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ ), berdasarkan kondisi *signal error* ( $E$ ) dan perubahan *error* ( $\Delta E$ ) (Handrian, Arifin, & Roekmono, 2011).

Variabel tambahan yang akan dijadikan variabel penjadwal pada dasarnya harus terkolerasi atau berhubungan dengan titik kerja atau kondisi proses yang dikontrol. Variabel tersebut dapat saja berupa *output* proses itu sendiri atau variabel input lain yang secara langsung mempengaruhi dinamika proses.

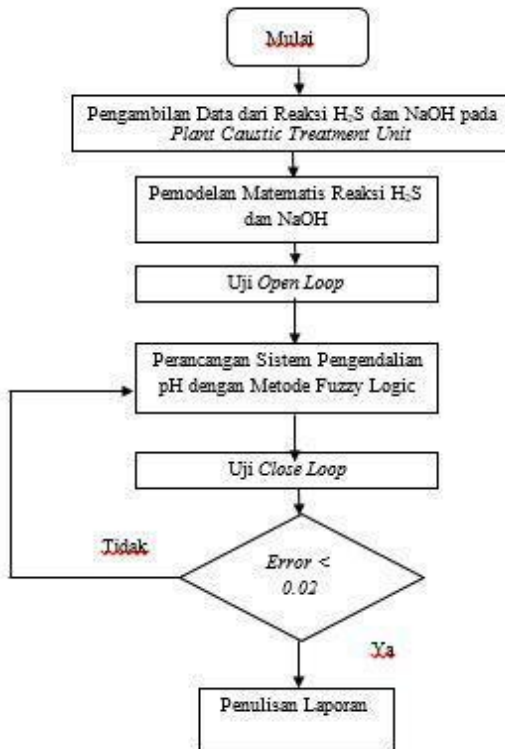
Dalam bentuknya yang sederhana, metode kontrol gain scheduling ini dapat direalisasikan dalam sebuah tabel yang berisi himpunan parameter PID untuk berbagai kondisi yang mungkin

terjadi selama pengontrolan proses berlangsung (Handrian, Arifin, & Roekmono, 2011).



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian tugas akhir ini dirancang dengan beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir di bawah ini. Tahapan-tahapan tersebut meliputi beberapa hal, antara lain:



Gambar32.1.0Diagram.9DiagramalirAlirpenelitianPenelitian 3.1

#### Pemodelan Dinamik Proses Scrubber

Pada *Caustic scrubber* reaksi antara H<sub>2</sub>S dan NaOH terjadi pada kolom kedua dimana inputnya berupa *flow* dan konsentrasi

dari  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$ , sehingga proses ini dapat dirumuskan melalui persamaan *material balance* untuk reaksi invariant seperti ditunjukkan pada persamaan (3.1a) dan (3.1b).

$$\frac{dW_a}{dt} = (1 - ) + (2 - ) \quad (3.1)$$

$$\frac{dW_b}{dt} = (1 - ) + (2 - )$$

Dimana:

$q_a$  = Flow  $\text{H}_2\text{S}$  (L/Hr)

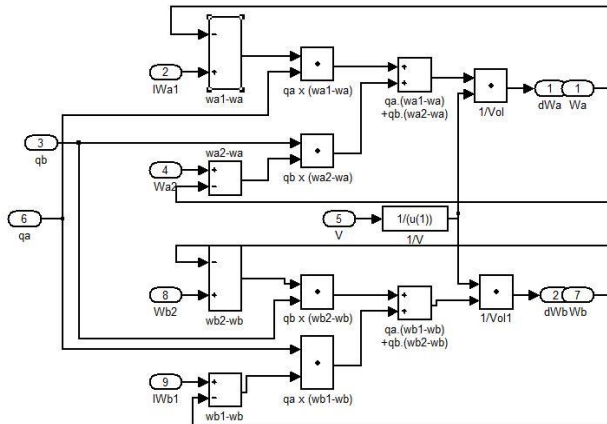
$q_b$  = Flow  $\text{NaOH}$  (L/Hr)

$W_a$  = Reaksi Invariant  $\text{H}_2\text{S}$  (Molar)

$W_b$  = Reaksi Invariant  $\text{NaOH}$ (Molar)

$V$  = Volume (Liter)

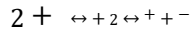
Sehingga apabila persamaan (3.1a) dan (3.1b) diterapkan pada *matlab simulink* sebagai bentuk pemodelan dinamik, maka akan didapatkan hasil seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.2



**Gambar 3.2** Pemodelan Dinamik pada *matlab simulink*

### 3.2 Pemodelan Statik Reaksi $\text{H}_2\text{S}$ dan $\text{NaOH}$

Berikut ini adalah reaksi pencampuran antara  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$ :



Reaksi kimia yang terjadi pada sistem adalah:

$$2 = \frac{[-][+]}{[2-][+]^{[2]}} \frac{[+]}{[.]}$$

Pemodelan statik reaksi kimia dilakukan berdasarkan konsep reaksi invariant. Pada sistem ini terdapat 2 reaksi invariant yang terjadi yaitu (Wahyuni & Cordova, 2012):

$$= [\cdot] - [\cdot] - [\cdot] - 2[\cdot] \quad (32)$$

$$= \{ \mid + \{ - \} + \{ 2 - \} \} \quad (3.2)$$

Berdasarkan reaksi invariant (3.2e) dan (3.2f) yang dimasukkan dengan persamaan konstanta asam (3.2c) dan (3.2b) dapat diperoleh pemodelan *static plant* sebagai berikut (Wahyuni & Cordova, 2012):

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{\dots} + \frac{2 \cdot 1 \cdot 2}{\dots} \\
 & \frac{1}{\dots} + \frac{1 \cdot 2}{\dots} \\
 & \frac{1}{\dots} + \frac{2 \cdot 1 \cdot 2}{\dots} \\
 & \frac{1}{\dots} + \frac{1 \cdot 2}{\dots} \\
 & \frac{1}{\dots} + \frac{1 \cdot 2}{\dots} \\
 & = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 1 + \frac{2 \quad 1 \quad 2}{[+]} + [+ ] + 1 + \frac{1 \quad 2}{[+]} \\
 & + + \frac{1}{[+]} + \frac{1 \quad 2}{[+]} - [+ ]^2 \\
 & - 1[+] - 1 \quad 2 = 0 \quad (3.2) \\
 & 1[+]^2 + 2 \quad 1 \quad 2[+] + [+ ]^3 + 1[+]^2 \\
 & + \frac{1 \quad 2[+]}{1 \quad 2} + \frac{1[+]}{1 \quad 2} - 1[+]^3 - 1[+] \\
 & - 1 \quad 2[+]^2 = 0 \quad (3.2) \\
 & [+ ]^4 + (1 - )[+]^3 + (1 \quad 2 - 1 - 1 - )[+]^2 + (- 1 \quad 2 - 2 \quad 1 \quad 2 - 1)[+] - \\
 & 1 \quad 2 = 0 \quad (3.2k)
 \end{aligned}$$

Dimana:

$W_a = x_a$  (Molar)

$W_b = x_b$  (Molar)

Pemodelan statik akan di simulasikan dalam bentuk *coding* program yang ditunjukkan pada lampiran B.1.

### 3.3 Pemodelan Matematik Elemen Pengendali

Pada penelitian ini digunakan *control valve* dengan parameter sebagai berikut:

*Flow* Maksimum: 50 L/Hr

*Flow* Minimum: 0 L/Hr

Tekanan Maksimum: 15 Psi

Tekanan Minimum: 3 Psi

Sehingga nilai *gain* pompa sebesar:

$$= \frac{50}{12} = 0,416 \quad (3.3)$$

*Time constant* pompa dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$= (\Delta + \tau) \quad (3.3)$$

merupakan konstanta waktu pompa, merupakan *time stroke*,  $\Delta V$  adalah fraksi perubahan posisi stem pada posisi normal dan R adalah perubahan dari konstanta waktu inherent pada *stroking time* yang bernilai 0,03 untuk jenis diafragma. Mengacu pada penelitian sebelumnya, nilai  $\tau = 1,733$ .

$$\Delta = \frac{50 - 0}{50} = 1 \quad (3.3)$$

$$= 1,733(1 + 0,33) = 1,79$$

Jadi bentuk matematis *control valve* adalah:

$$= \frac{0,416}{1,79 + 1} \quad (3.3)$$

### 3.4 Penentuan parameter PID

Untuk mendapatkan respon pengendalian yang stabil dan optimal maka dibutuhkan penentuan parameter tuning PID. Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan trial and error untuk menentukan nilai range  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  pada keluaran

sistem *fuzzy*. Selain itu sebagai perbandingan, dilakukan penentuan parameter PID dengan menggunakan table Zieger-Nichols (Wijaya, Setiawan, & Wahyudi, 2004). Diketahui nilai  $K_u = 133.3$  dan nilai  $T_u = 0.068$ , selanjutnya nilai tersebut dapat dimasukkan kedalam table Zieger-Nichols untuk mengetahui nilai parameter PID-nya:

**Tabel 3.1** Tabel Zieger-Nichols

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$K_u/2$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

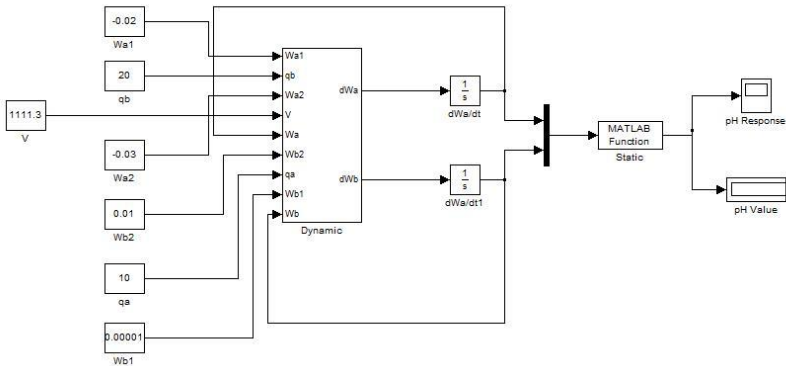
Maka nilai  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  untuk sistem ini berturut-turut adalah sama dengan 80, 0.034, 0.0085.

### 3.5 Uji Simulasi

Pengujian simulasi dilakukan untuk melihat respon sistem secara *open loop* maupun *close loop*.

#### 3.5.1 Uji *Open loop Model*

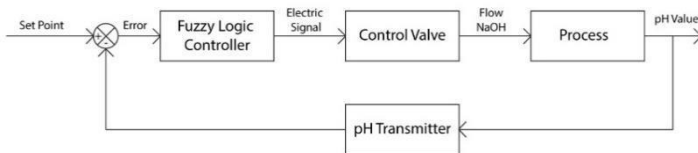
simulasi *open loop* dilakukan untuk melihat kondisi respon sistem ketika tanpa kendali logika *fuzzy*. Uji *open loop* dilakukan juga untuk melihat respon transien dari plant yang akan diuji. Dimana pada simulasi tersebut terdapat *input* berupa nilai *flow* NaOH dan H<sub>2</sub>S dan juga nilai reaksi invariant dari NaOH dan H<sub>2</sub>S yang masuk kedalam pemodelan dinamik dari *plant* untuk selanjutnya dapat dikalkulasi dan dapat dihasilkan output berupa nilai pH dari reaksi antara NaOH dan H<sub>2</sub>S. *Output* dari simulasi *open loop* ini adalah nilai pH dari reaksi.



**Gambar 3.3** Simulasi *open loop* pada matlab Simulink

### 3.5.2 Uji *Close loop Model*

simulasi *close loop* digunakan untuk melihat respon keluaran sinyal kendali arus dan tegangan yang akan memasuki *control valve* dan diubah menjadi laju aliran. Sistem menggunakan Kendali logika *fuzzy*. Berikut ini adalah diagram blok dari model *close loop* dengan menggunakan kendali *fuzzy logic*:

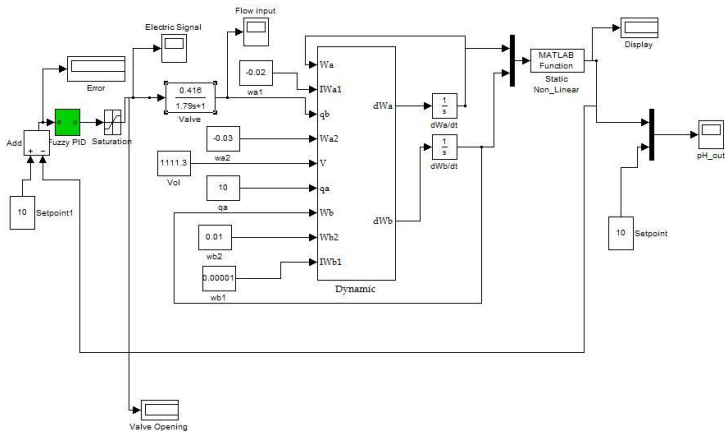


**Gambar 3.4** Diagram blok model *close loop* dengan menggunakan *fuzzy logic controller*

Dimana input dari *fuzzy logic controller* berupa nilai *error* dari *set point* yang selanjutnya dikonversi kedalam sinyal elektrik

untuk dapat diterima oleh *control valve* yang nantinya akan menghasilkan nilai *flow* dari NaOH yang akan diproses sehingga akan didapatkan nilai pH yang diinginkan.

Selanjutnya bentuk pemodelan *close loop* disimulasikan pada *matlab simulink* sebagai berikut:



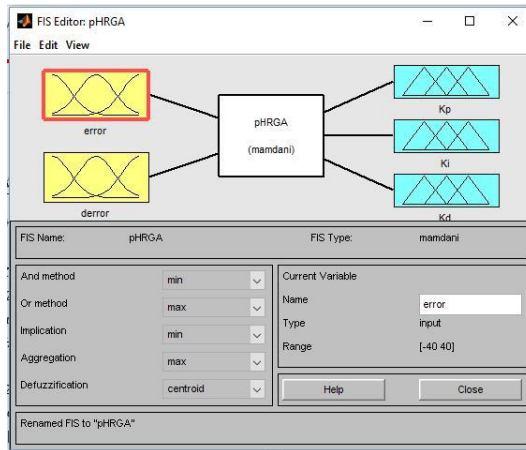
**Gambar 3.5** Simulasi *close loop* pada *matlab simulink*

Selanjutnya uji Simulasi dilakukan dengan menggunakan *disturbance*, kemudian dianalisa perbedaan dari masing-masing kondisi sistem pengendalian ketika diberikan *disturbance* maupun tanpa *disturbance*. Selain itu juga dilakukan uji *tracking* dengan variasi *setpoint* 10 dan 11.

### 3.6 Perancangan Logika Fuzzy

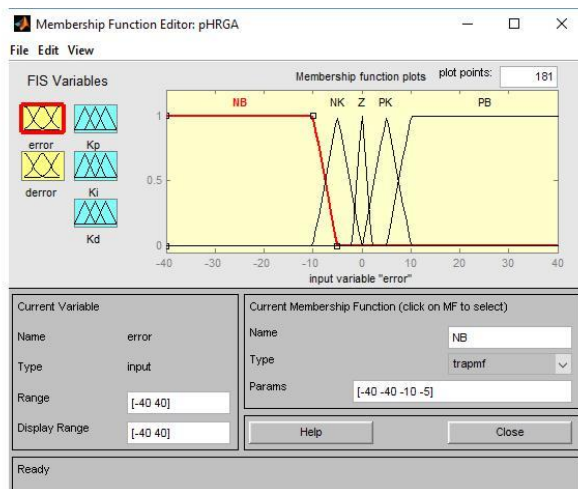
Logika *fuzzy* disini berfungsi untuk menentukan/mengatur nilai pengendali PID atau biasa juga disebut *Fuzzy PID Gain Scheduling*. Input yang digunakan berupa *error* dan *delta error*. Berikut ini bentuk input *fuzzy*





**Gambar 3.6** Desain *input output* pada FIS

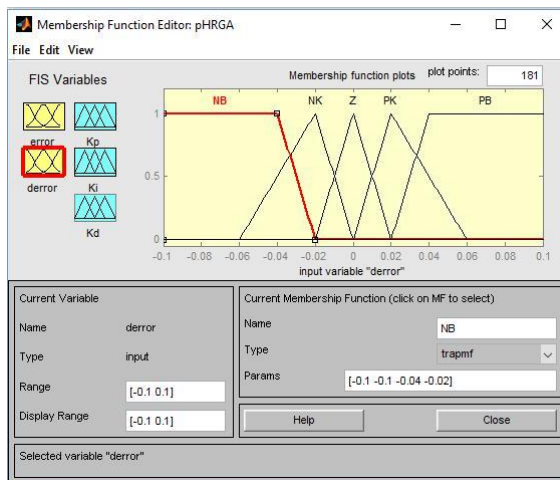
Pada input *error* digunakan 5 buah *membership function*, yaitu 2 berbentuk trapesium sebagai batas minimal dan maksimal dan 3 berbentuk segitiga sebagai pemerkecil *error*. Berikut ini adalah gambar dari perancangan input *error*:



**Gambar 3.7** *Membership function* variabel *error*

Input *delta error* memiliki nilai *range* -0.1 sampai 0.1 dari nilai set point sebesar 10. Jumlah *membership*nya functionnya sama dengan yang digunakan untuk masukan *error* yaitu 3 berbentuk segitiga dan 2 berbentuk trapesium sebagai batas range sesuai dengan keluaran proses yang terjadi.

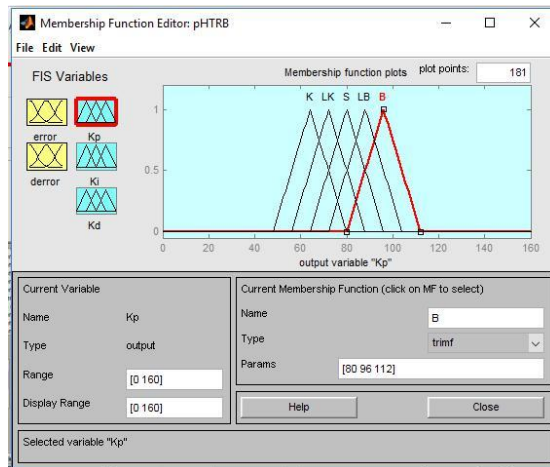
Perancangan untuk *membership function delta error* dengan bentuk dan susunan seperti ini dimaksudkan untuk mengatasi kurangnya tingkat kestabilan yang terjadi pada respon keluaran proses.



**Gambar 3.8** *Membership function variabel delta error*

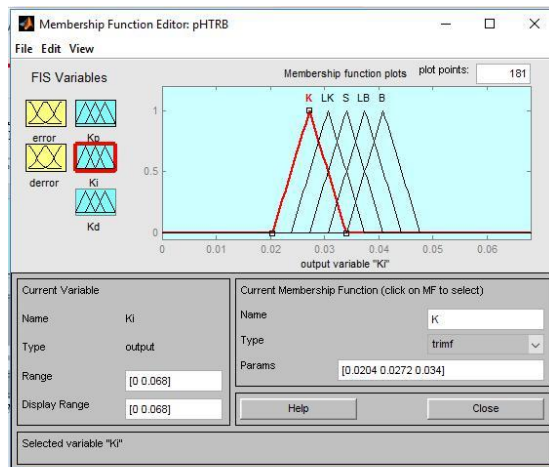
tahap selanjutnya adalah melakukan pemetaan nilai *crisp* keluaran berupa parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Data pada proses pengendalian berbentuk *crisp*, dan dengan proses fuzzifikasi ini, nilai *crisp* yang teramati dipetakan ke dalam nilai *fuzzy* yang bersesuaian dengan rentang kerja (*range*) setiap variabel masukannya.

Berikut adalah tampilan yang dipakai dalam perancangan fungsi keanggotaan dari  $K_p$  :



**Gambar 3.9** *Membership function* parameter  $K_p$

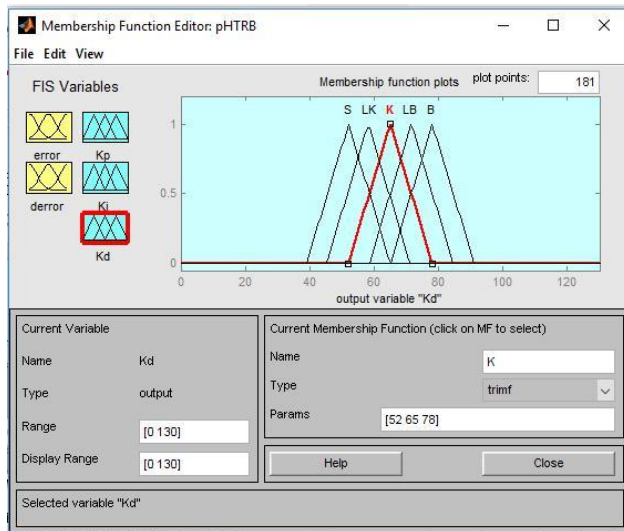
Berikut adalah tampilan yang dipakai dalam perancangan fungsi keanggotaan dari  $K_i$  :



**Gambar 3.10** *Membership function* parameter  $K_i$

Gambar 3.4 dan gambar 3.5 dapat menunjukkan nilai *range* keluaran pengendali *fuzzy Gain Scheduling*-PID yang mewakili nilai variabel parameter  $K_i$  dan  $K_d$ . Pada fungsi keanggotaan  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  digunakan *membership function* berupa 3 buah segitiga untuk meperkecil parameter tersebut. Nilai range yang digunakan untuk variabel ini juga didapatkan dari perhitungan nilai parameter PID dengan menggunakan tabel *zieger-nichols* untuk mencari kestabilan yang telah dilakukan sebelumnya.

Berikut adalah tampilan yang dipakai dalam perancangan fungsi keanggotaan dari  $K_d$  :



Gambar 3...1171MembershipshipfunctiononpparameterramerrKKid

### 3.6.1 Perancangan *Rule base*

Dalam perancangan ini didesain sebuah *Rule base* sebagai aturan untuk menghubungkan antara *input* dan *output*, Pada perancangan ini didasarkan pada hubungan antara *input* dan *output* pada proses yang terjadi di *plant* sesuai dengan pengalaman operator yang menguasai pengendaliannya. Singkatan-singkatan

pada tabel yang digunakan sebagai keterangan adalah sebagai berikut :

NB= Negatif Besar, NK= Negatif Kecil, Z= Zero, PK= Positif Kecil, PB= Positif Besar, S= Steady, K= Kecil, B= Besar

**Tabel 3.3** *Rule base* untuk parameter Kp

Kp	<i>derror</i>	NB	NK	NA	Z	PA	PK	PB
<i>error</i>	Kp							
NB		K	K	K	LK	K	K	K
NK		K	K	LK	LK	LK	K	K
NA		K	LK	LK	S	LK	LK	K
Z		LK	LK	S	S	S	LK	LK
PA		B	LB	LB	S	LB	LB	B
PK		B	B	LB	LB	LB	B	B
PB		B	B	B	LB	B	B	B

**Tabel 1.4** *Rule base* untuk parameter  $K_i$ 

$K_i$	<i>derror</i>	NB	NK	NA	Z	PA	PK	PB
<i>error</i>	$K_i$							
NB		K	K	K	LK	K	K	K
NK		K	K	LK	LK	LK	K	K
NA		K	LK	LK	S	LK	LK	K
Z		LB	LB	S	S	S	LB	LB
PA		B	LB	LB	S	LB	LB	B
PK		B	B	LB	LB	LB	B	B
PB		B	B	B	LB	B	B	B

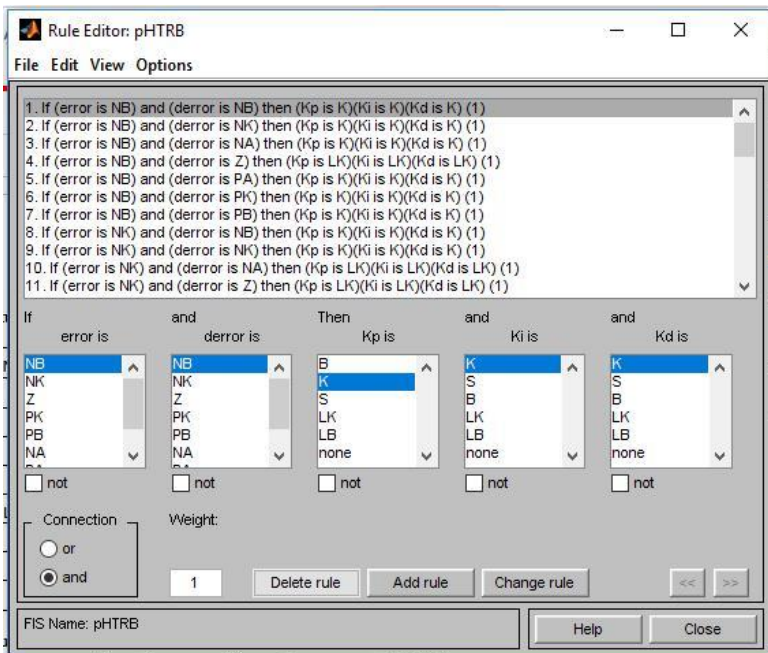
**Tabel 3.5** *Rule base* untuk parameter  $K_d$ 

$K_d$	<i>derror</i>	NB	NK	NA	Z	PA	PK	PB
<i>error</i>	$K_d$							
NB		K	K	K	LK	K	K	K
NK		K	K	LK	LK	LK	K	K
NA		K	LK	LK	S	LK	LK	K
Z		LK	LK	S	S	S	LK	LK
PA		B	LB	LB	S	LB	LB	B
PK		B	B	LB	LB	LB	B	B
PB		B	B	B	LB	B	B	B

*Rule base* merupakan kumpulan kontroler aturan pada kontroler logika *fuzzy* yang menyatakan aksi pengendali untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Pembuatan aturan dari logika

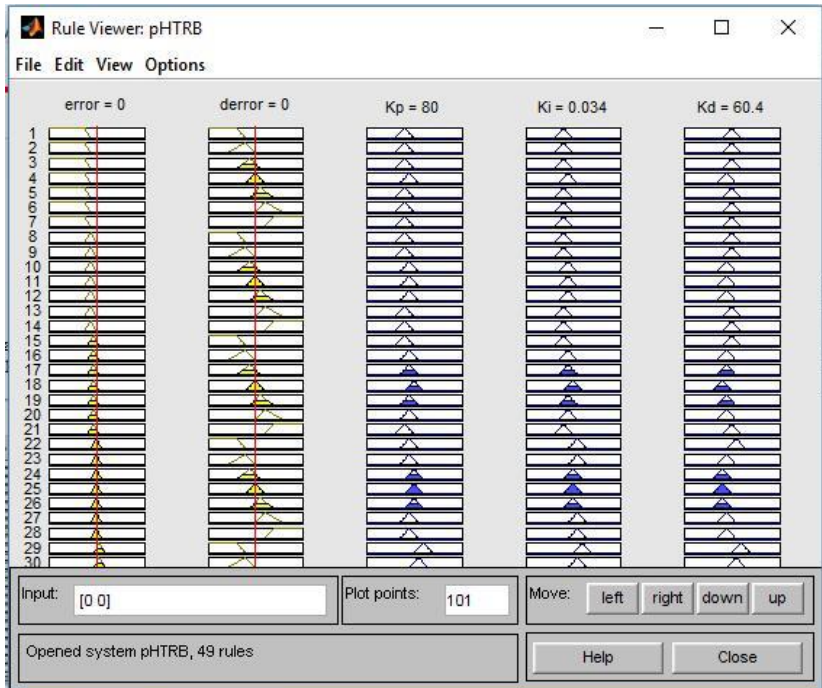
*fuzzy* pada perancangan ini didasarkan pada pengaruh nilai parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ ) terhadap respon pengendalian.

Berikut tampilan dari aturan dalam menentukan nilai parameter PID yang ditunjukkan dengan desain basis aturan logika *fuzzy* pada FIS editor matlab dimana basis aturan terdiri dari 49 aturan:



**Gambar 3.128 Rule Base**

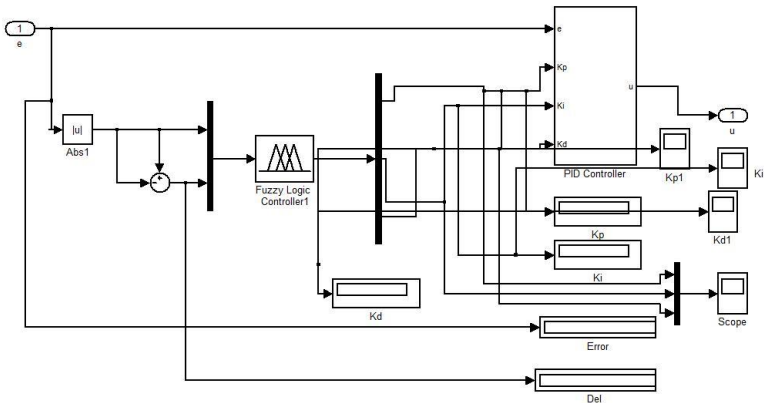
Sehingga dari aturan diatas melalui *Rule viewer* dan *surface viewer* dapat dilihat seperti gambar di bawah ini:



**Gambar 3.13** *Rule Viewer*



Pada *matlab simulink*, kendali *fuzzy logic gain scheduling* disimulasikan sebagai berikut:



**Gambar 3.14** Simulasi sistem kendali *fuzzy logic gain scheduling*

Dimana terdapat input berupa *error* dan *delta error* yang nantinya akan menjadi input bagi *fuzzy logic controller* yang akan diolah oleh *rule base* yang ada didalamnya untuk selanjutnya menjadi input bagi *PID controller* agar dihasilkan nilai parameter PID yang sesuai.

### 3.7 Analisa Performansi

Analisa Sistem dilakukan untuk melihat kondisi respon sistem ketika dilakukan uji menggunakan *software matlab*. Uji coba sistem dengan menggunakan kendali *Fuzzy* baik terdapat gangguan atau tanpa gangguan laju aliran. Performansi dari hasil uji sistem apakah mampu mencapai target, lalu stabil atau tidak, serta kendali mampu mengurangi nilai *error* yang diakibatkan oleh adanya gangguan.

### 3.8 Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan disusun mulai dari awal hingga akhir proses desain kendali pH pada reaksi  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{NaOH}$  pada *caustic scrubber* menggunakan metode kendali logika *fuzzy*. Kemudian

diuji berdasarkan kondisi-kondisi tanpa gangguan maupun dalam kondisi ketika terdapat gangguan laju aliran asam.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pemodelan dan Simulasi *Open loop*

Berdasarkan hasil pemodelan didapatkan dua pemodelan yaitu pemodelan statik berdasarkan reaksi invariant pada persamaan 4.1a dan 4.1b dan persamaan dinamik menggunakan persamaan *material balance* yang ditunjukkan pada persamaan 4.2. Kedua persamaan ini telah menghasilkan respon yang sesuai dengan teori kurva titrasi asam lemah dan basa kuat.

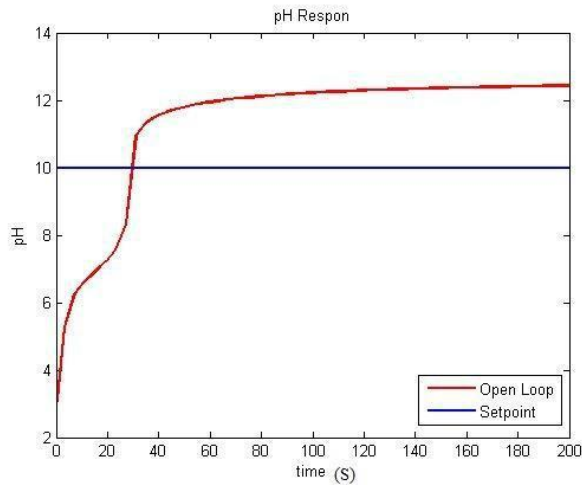
$$\frac{C_{H_2PO_4^-}}{C_{H_2PO_4^-} + C_{HPO_4^{2-}}} = (1 - \alpha) + (2 - \alpha) \quad (4.1)$$

$$\frac{C_{H_2PO_4^-}}{C_{H_2PO_4^-} + C_{HPO_4^{2-}}} = (1 - \alpha) + (2 - \alpha) \quad (4.1)$$

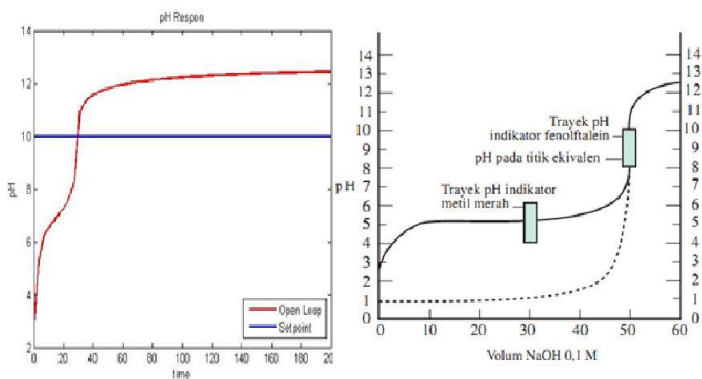
$$[H^+]^4 + (1 - \alpha)[H^+]^3 + (1 - 2\alpha - 1) - 1 - 3\alpha^2 + (-1 + 2 - 2 + 1 + 2 - 1)[H^+] - 1 - 2 = 0 \quad (4.2)$$

Pada sistem *open loop* tersebut terdapat proses dinamik yang dirancang sesuai dengan Persamaan. Sedangkan model statik merupakan model *plant* penetralan pH berdasarkan reaksi invariant yang terdapat pada persamaan statik untuk mengetahui konsentrasi larutan asam dan basa yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai pH hasil penetralan.

Berdasarkan hasil simulasi sistem *open loop* didapatkan grafik konsentrasi asam dan basa yang saling berpotongan. Grafik konsentrasi asam dan basa ini sudah sesuai dengan teori kurva titrasi asam lemah dan basa kuat, dimana titik equivalen berada pada range pH 8-9 dengan nilai perubahan pH drastis berada pada range 7-10, sehingga dapat dikatakan model matematis telah valid.



**Gambar 4.1** Respon pH saat simulasi *open loop*

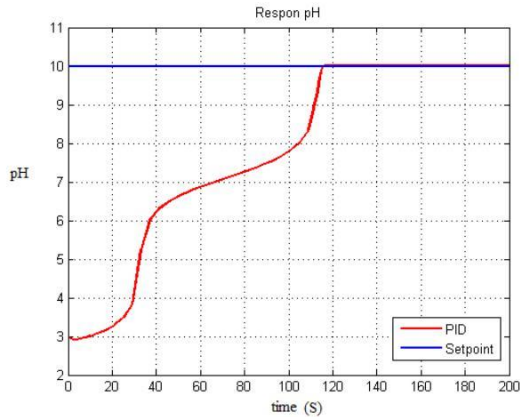


**Gambar 4.2** Perbandingan hasil simulasi dengan teori

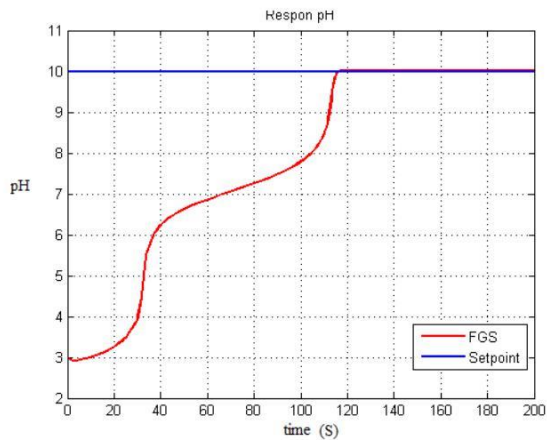
Respon yang ditunjukkan oleh simulasi *open loop* masih belum bisa memenuhi *setpoint* yaitu mencapai nilai 12.43

## 4.2 Hasil Simulasi *Close loop*

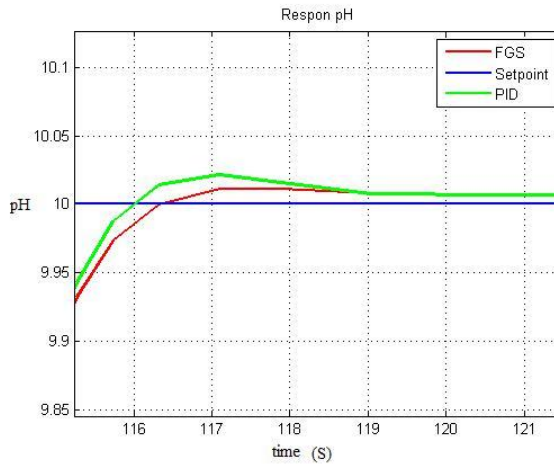
Pada uji *close loop* dilakukan variasi sistem pengendalian yaitu PID dan *Fuzzy* PID. Selain itu dilakukan pengujian dengan penambahan *disturbance* pada sistem pengendalian.



**Gambar 4.23** Respon pH saat uji *close loop* PID



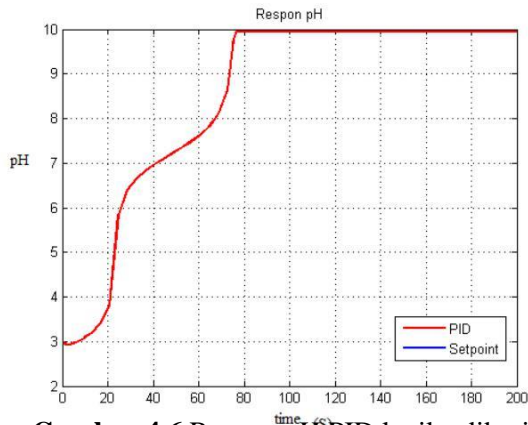
**Gambar 4.4** Respon pH saat uji *close loop fuzzy* PID



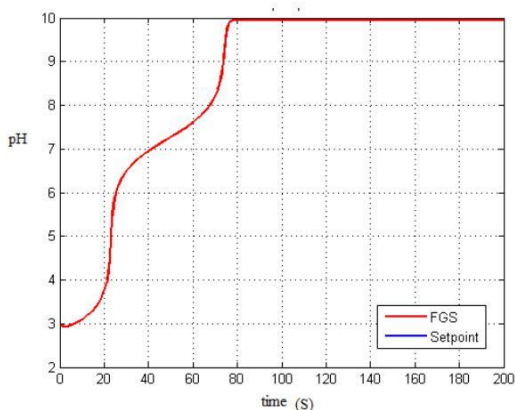
**Gambar 4.45 Perbandingan respon pengendali PID dan FGS**

Berdasarkan gambar diatas, respon pH saat uji *close loop* dengan metode PID dan *Fuzzy* PID sama-sama dapat mencapai *setpoint* dengan kondisi stabil. Namun sistem pengendalian *fuzzy* PID memiliki *settling time* yang lebih cepat dan *maximum overshoot* serta *error* yang lebih kecil.

Ketika diberi *disturbance* berupa perubahan nilai *flow* pada asam yang turun sebesar 10%, respon pH mengalami perubahan baik nilai maupun waktu stabil. Perubahan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

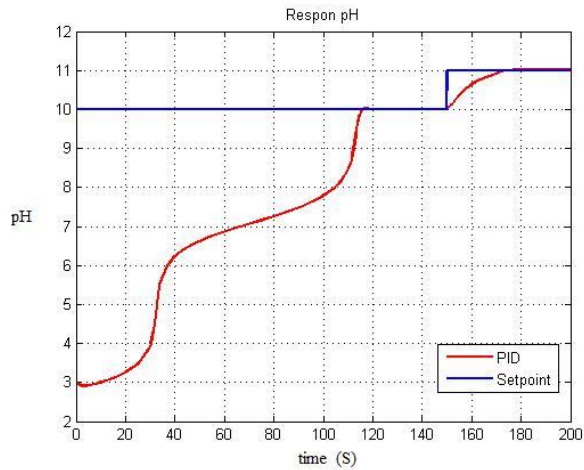


**Gambar 4.6** Respon pH PID ketika diberi *disturbance*



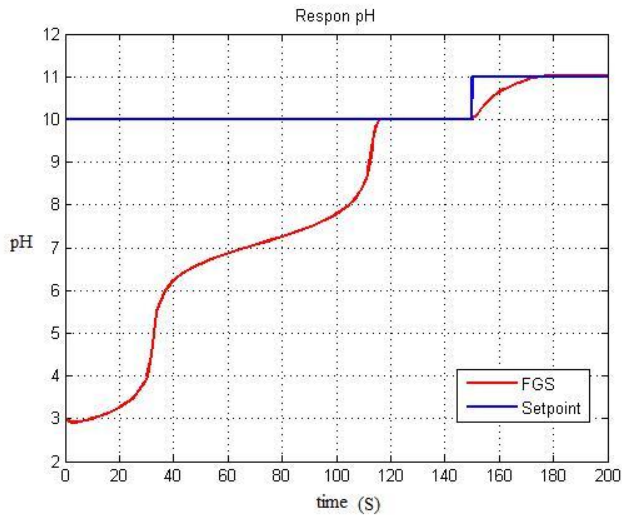
**Gambar 4.67** Respon pH FGS ketika diberi *disturbance*

Selanjutnya dilakukan uji *tracking*, uji ini digunakan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan pengendali dalam mengatasi kondisi pada saat diberikan gangguan internal berupa perubahan *setpoint*. Pengujian ini dilakukan baik kepada sistem pengendali PID maupun *fuzzy* PID dengan perubahan *setpoint* dari 10 ke 11. Responnya dapat dilihat sebagai berikut:

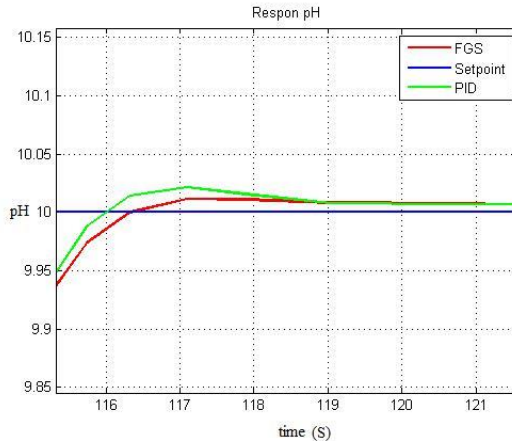


**Gambar 4.78** Respon pH PID ketika uji *tracking*





**Gambar 4.9** Respon pH FGS ketika uji *tracking*



**Gambar 4.10** Perbandingan respon pengendali FGS dan PID ketika uji *tracking*

Berdasarkan gambar-gambar hasil respon di atas, maka dapat dibuat tabel perbandingan antara pengendali *Fuzzy* PID dan pengendali PID seperti pada Tabel di bawah ini:

**Tabel 4.1** Perbandingan nilai respon antara PID dan FGS

<b>Jenis Uji</b>	<b>Bagian yang diamati</b>	<b>PID</b>	<b>FGS</b>
<i>Setpoint</i>	Nilai Respon pH	10.10	10.10
	<i>Settling time</i>	119 detik	117 detik
	<i>Error</i>	0.596%	0.540%
	<i>Max. Overshoot</i>	0.16%	0.11%
<i>Disturbance</i>	Nilai Respon pH	9.96	9.96
	<i>Settling time</i>	89 detik	78 detik
	<i>Error</i>	3.954%	3.926%
	<i>Max. Overshoot</i>	0.01%	0.01%

**Table 4.1** (lanjutan) Perbandingan respon PID dan FGS

Jenis Uji	Bagian yang diamati	PID	FGS
<i>Tracking</i>	Nilai Respon pH	11.02	11.02
	<i>Settling time</i>	119 detik	117 detik
	<i>Error</i>	1.97%	1.97%
	<i>Max. Overshoot</i>	0.21%	0.11%

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi, pada saat simulasi *open loop* sistem tidak dapat mencapai kestabilan dan nilai pH tidak mencapai *setpoint*. Hal ini disebabkan karena tidak adanya elemen pengendali. Elemen pengendali bertujuan untuk membantu sistem mencapai kestabilan dan mengurangi gangguan.

Ketika uji simulasi *close loop*, kedua sistem menghasilkan respon yang tidak jauh berbeda, sistem dapat mencapai kestabilan dan nilai pH berhasil mencapai *setpoint* baik dengan menggunakan pengendali PID maupun pengendali *fuzzy* PID. Namun pengendali *Fuzzy* PID memiliki *settling time* yang lebih cepat dan *error steady state* yang lebih kecil dari pengendali PID, selain itu *maximum overshoot* yang dihasilkan *fuzzy* PID memiliki nilai yang lebih kecil dibanding pengendali PID, sehingga dapat dikatakan pengendali *fuzzy* PID lebih baik. Hal ini disebabkan parameter PID pada sistem pengendali *fuzzy* PID ditentukan dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* berdasarkan konfigurasi dari *rule base* dan *membership function* yang ada didalamnya. Namun sistem *close loop* ini belum mendapat *disturbance* sehingga

diperlukan pengujian berikutnya dengan memberikan *disturbance*.

Ketika sistem diberi *disturbance* berupa penurunan nilai *flow* asam sebesar 10%, pengendali *fuzzy* PID memiliki respon yang lebih baik dibandingkan pengendali PID. Hal ini dapat ditunjukkan dari nilai *error fuzzy* PID yang lebih kecil dari pengendali PID dan *settling time* yang lebih cepat, sementara nilai *maximum overshoot*-nya tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Akan tetapi respon pH yang dihasilkan kurang dapat mencapai *setpoint*, walaupun nilai yang dihasilkan tidak terlalu jauh dari *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 9,96.

Pada uji *tracking*, perbedaan paling signifikan antara kedua sistem adalah sistem pengendali *fuzzy* PID dapat mengurangi *maximum overshoot* dibandingkan dengan sistem pengendali PID. *Settling time*, *error* dan respon pH yang dihasilkan tidak memiliki nilai yang terlalu jauh.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa data dan pembahasan pengujian kehandalan sistem pengendalian yang telah dirancang, dapat disimpulkan bahwa:

Pemodelan matematis dari reaksi  $H_2S$  dan  $NaOH$  pada *plant caustic scrubber* dapat ditemukan dengan menentukan pemodelan static dan dinamiknya. Pemodelan static dapat ditentukan dengan menggunakan reaksi invariant  $H_2S$  dan  $NaOH$  dan pemodelan dinamik dapat ditentukan melalui proses reaksi pada *plant*.

Pengendalian pH dengan menggunakan sistem pengendalian *Fuzzy PID Gain Scheduling* menghasilkan respon yang lebih baik daripada sistem pengendalian PID.

Nilai *error* pada sistem pengendalian *Fuzzy PID* sebesar 0.540% sementara pada sistem pengendalian PID sebesar 0.596%, selain itu sistem pengendalian *fuzzy PID* memiliki *maximum overshoot* yang lebih kecil yaitu 0.11% dibanding sistem pengendali PID yang sebesar 0.162% dengan *settling time* yang juga lebih baik antara pengendali *fuzzy PID* dan PID berturut-turut sebesar 117 dan 119 detik. Ketika sistem diberi *disturbance*, sistem pengendali *fuzzy PID* mampu mengurangi *error* menjadi 3.926% dan mempercepat *settling time* menjadi 78 detik, sementara pengendali PID menghasilkan *error* sebesar 3.954% dan *settling time* 89 detik. *Maximum Overshoot* yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan yaitu sebesar 0.01%. Ketika dilakukan uji *tracking*, *fuzzy PID* dapat mengurangi *maximum overshoot* dibandingkan dengan pengendali PID. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam setiap pengujian pengendali *fuzzy PID* menghasilkan respon yang lebih baik daripada pengendali PID.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah dapat diperlukan metode lain dari sistem pengendalian *fuzzy Gain Scheduling* utamanya untuk mengurangi dampak dari *disturbance* yang diberikan pada sistem sehingga dapat diperoleh respon dengan *error* yang lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Altas, I. H., & M, S. A. (2007). *A GENERALIZED DIRECT APPROACH FOR DESIGNING FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN MATLAB/SIMULINK GUI ENVIRONMENT*. *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*.
- Arifin, S. (2016). Kuliah Fuzzy. *Materi Kuliah Fuzzy Teknik Fisika ITS*. Surabaya, Jawa Timur, Indonesia.
- Darsati, S. (2012, March 8). Retrieved from Direktori File UPI: [http://file.upi.edu/browse.php?dir=Direktori/FPMIPA/JUR.\\_PEND.\\_KIMIA/195603231981012-SITI\\_DARSATI/](http://file.upi.edu/browse.php?dir=Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._KIMIA/195603231981012-SITI_DARSATI/)
- Handrian, A., Arifin, S., & Roekmono. (2011). PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE PADA REBOILER METANOL RECOVERY MENGGUNAKAN FUZZY GAIN SCHEDULING-PID DI PT. ETERINDO NUSA GRAHA GRESIK. *Undergraduate Thesis of Engineering Physics*.
- Mamrosh, D., McIntush, K., & Fisher, K. (2014). *Caustic scrubber designs for H<sub>2</sub>S removal from refinery gas streams*.
- Ogata, K. (2002). *Modern Control Engineering 4th Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Siemak, J., & Gelbs, M. (1985). Operating Experience With a Two-Stage H<sub>2</sub>S Scrubber Using. *Society of Petroleum Engineers*.

- Tore. K, G., & Waller. V, K. (1983). *Dynamic Modeling and Reaction Invariant Control Of pH. Chemical Engineering Science Vol. 38 No. 3.*
- Wahyuni, N., & Cordova, H. (2012). Perancangan Sistem Pengendalian pH dengan Metode *Adaptive Control* Menggunakan *Minimum Variance* pada Unit Pengolahan Limbah Gas di PT HESS (Indonesia-Pangkajene-Dea). *Tugas Akhir.*
- Wijaya, E. C., Setiawan, I., & Wahyudi. (2004). *Auto Tuning PID* Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu .
- Ylen, J.-P. (2001). *MEASURING, MODELLING AND CONTROLLING THE pH VALUE AND THE DYNAMIC CHEMICAL STATE . Helsinki: Helsinki University of Technology.*



## LAMPIRAN A DATA PLANT

### 1. Data Proses Plant *Caustic Scrubber*

Data Caustic Scrubber		
Jenis Data	H <sub>2</sub> S	NaOH
Wa1	-0.02	-
wa2	-0.03	-
Wb1	-	0.01
Wb2	-	0.00001
Flow	10 L/hr	20L/hr
Volume	1111.3 L	

## LAMPIRAN B

### LISTING PROGRAM DAN SIMULINK

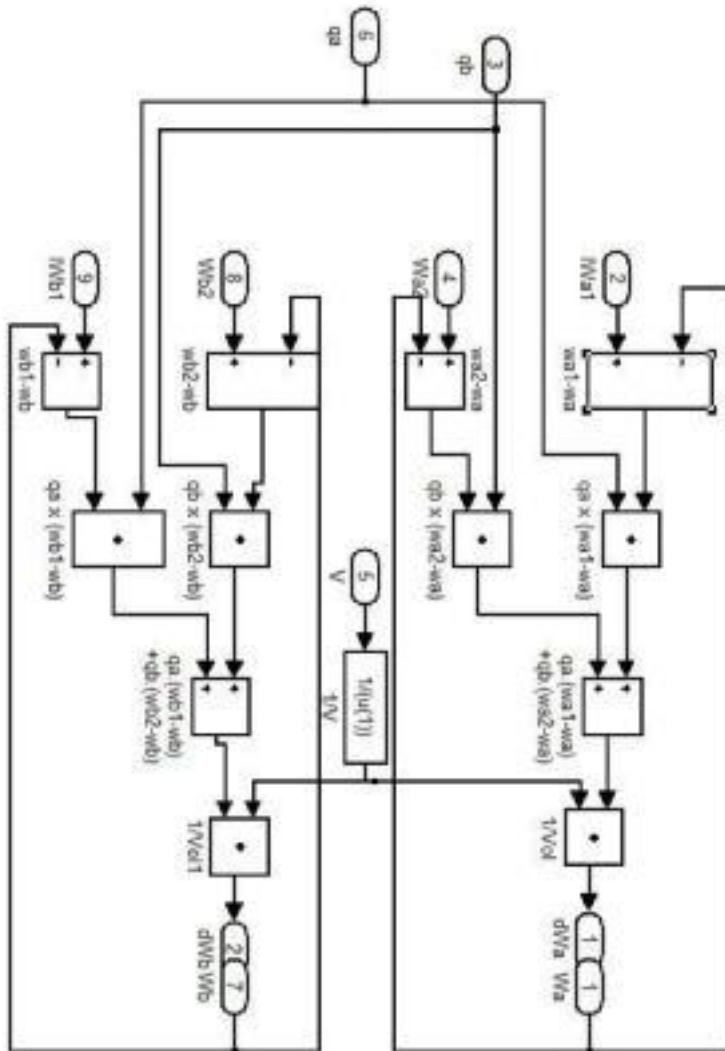
#### 1. Listing Program Pemodelan Statik

```

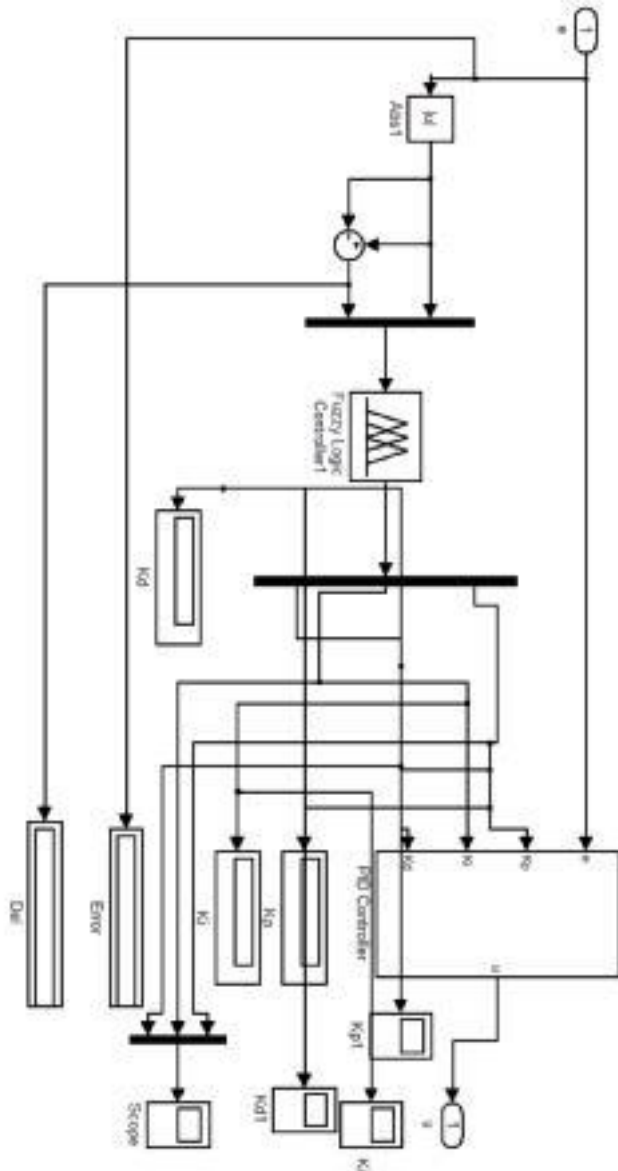
function funcout = Statikh2sH2(pinput)
yl=pinput(:);
xa=yl(1,:);
xb=yl(2,:);
ka1=1.1e-7;
ka2=1e-14;
kw=1e-14;
a1=1;
a2=(ka1-xa);
a3=(ka1*ka2)-(ka1*xa)-(ka1*xb)-
kw; a4=(-ka1*ka2*xa)-
(2*ka1*ka2*xb)-(kw*ka1)-
(ka1*ka2*kw); p=[a1 a2 a3 a4];
r=roots(p);
for i=1:3
    if r(i,1)>0
        H=r(i,1);
    end
end
pH= -log10(H);
funcout=pH;

```

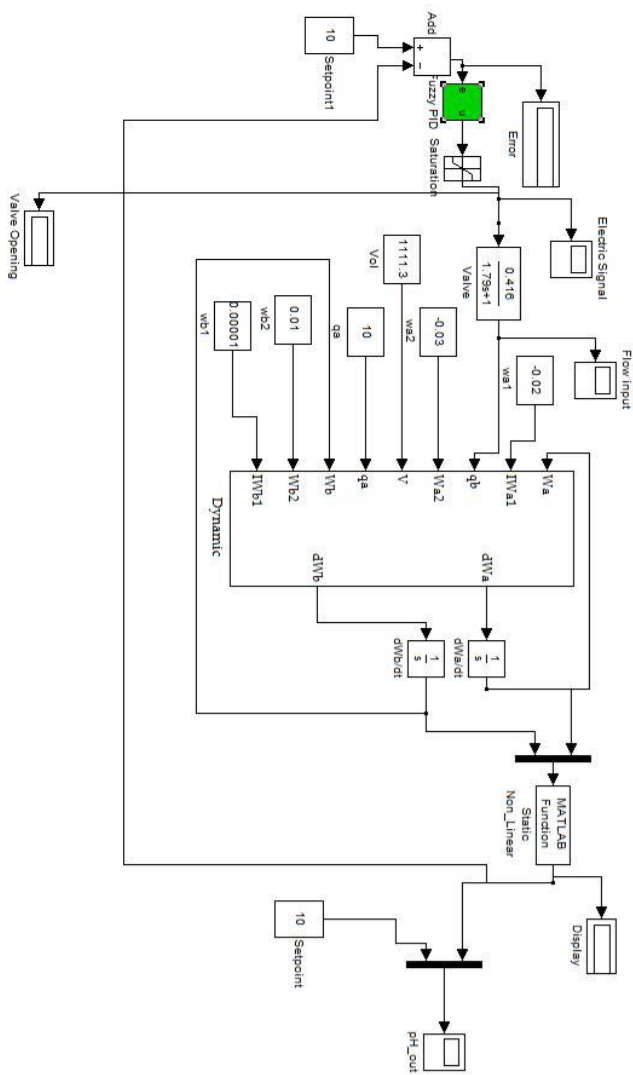
## 2. Simulink dinamik



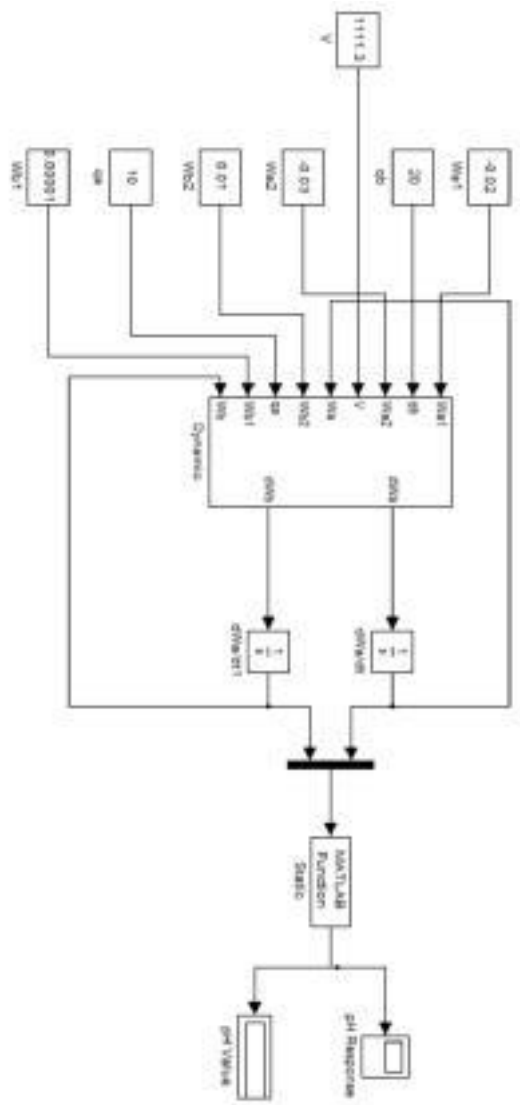
### 3. Simulink *Fuzzy Logic Gain Scheduling*



#### 4. Simulink Close Loop



5. Simulink Open Loop



## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Robertus Raditya, lahir di kota Jakarta, 16 November 1994. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal, yaitu SD Bunda Hati Kudus Cibubur, SMP Bunda Hati Kudus Cibubur dan SMA Bunda Hati Kudus Cibubur. Setelah lulus dari SMA, penulis

diterima di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama kuliah penulis turut aktif di berbagai organisasi dan kepanitiaan salah satunya sebagai *staff journalism* di *Society of Petroleum Engineers ITS Student Chapter* dan panitia *Engineering Physics Week 2015* bagian *sponsorship*. Selain itu, penulis juga mampu mempertahankan Indeks Prestasi (IP) diatas 3.00 hingga mampu lulus 8 semester dengan baik. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email: [radityarobert@gmail.com](mailto:radityarobert@gmail.com)

